

# ח י נ ו ך ב ע י ד ן ה מ ד ע

נוסח ערוך של הקלטת הרצאתו של

**פרופסור חיים הררי**

ביום עיון למורי מדע וטכנולוגיה בחטיבות הביניים

מורי ורבותי,

התבקשתי על ידי מארגני הכנס לשאת אתכם בכמה מחשבות על מדע וחינוך. אעשה כמיטב יכולתי להיענות לבקשה זו.

אנו נמצאים היום בעיצומן של שתי מהפכות מדעיות, כאשר אחת מהן מפגרת במקצת אחר השניה. אנו נמצאים גם על סף שידוך מדתי ונפתיע בין מהפכת אלו, ובאותה עת אנו עומדים בפני משבר מדעי טכנולוגי רציני. כל אלה משפיעים על חיינו יותר מאשר אי פעם וכל אלה גורמים למדע ולטכנולוגיה לפלוש לכל פינה בחיינו.

המהפכה הראשונה היא כמובן המהפכה המתפתחת מזה עשרות שנים והגיעה לשיאה בעשור האחרון. זוהי מהפכת האלקטרוניקה, המיחשוב, הפיזיקה, הלייזרים, התקשורת, האינטרנט, החומרים וכל שאר התחומים הנובעים בעיקרם מהמתמטיקה והפיסיקה. המהפכה הזו נמצאת כבר מזמן בכל בית. היא משפיעה בצורה דרמטית מאוד על התעשייה ולא רק על תעשיית הטכנולוגיה העילית (Hi-tech) אלא גם על התעשייה המייצרת תחתונים, גרביים, במבה ולחם. למעשה קשה לראות תעשיות עתיד משגשות מבלי שהן נשענות בצורה רצינית מאוד על המהפכה הזו, בשיטות הייצור שלהם ו/או במוצרים עצמם. המהפכה הזו ילדה מילת קסם שאנו שומעים בכל מקום: הגלובליזציה.

הגלובליזציה היא בעצם תרגום למושגים חדשניים של שתי עובדות פשוטות מאוד. אנו מסוגלים היום לנוע על פני כדור הארץ פחות או יותר במהירות הקול. מטוסי נוסעים טסים כמעט במהירות הקול, אנו מסוגלים להזיז את עצמנו ולהזיז מטענים וחומרים, אטומים ומולקולות, על פני כדור הארץ במהירות הקול. כאשר אנו נעים על פני כדור הארץ במהירות הקול אנחנו יכולים להגיע מכל נקודה לכל נקודה ב-24 שעות. אנחנו גם מעבירים אינפורמציה, וזה חשוב עוד יותר, במהירות האור. אנו מסוגלים להעביר כל מידע, בין אם הוא חדשותי, מסחרי או מדעי, מכל נקודה על פני כדור הארץ לכל נקודה אחרת כהרף עין. היכולת שלנו להעביר אטומים במהירות הקול ומידע במהירות האור, מאפשרת לנו להעביר אותם במהירות ללא תקדים ובכמויות ללא תקדים. הכמויות האלו הולכות וגדלות, ובעיקר כמויות המידע שאפשר להעביר בשניה.

שתי העובדות הפשוטות האלה, היכולת שלנו להעביר חומר במהירות הקול ולהעביר מידע במהירות האור, הן למעשה המפתח שמאחורי כל התהליך המורכב של מחיקת גבולות בינלאומיים וגלובליזציה, מעבר מהיר בין יבשת ליבשת, מסחר בין יבשתי כהרף עין, העברת סכומי כסף ענקיים ממקום למקום ואיבוד הלאומיות כמרכיב חשוב בעולם הכלכלי. מדהים איך עובדות מדעיות-טכנולוגיות שינו לחלוטין את פני התעשייה העולמית, הכלכלה העולמית, המסחר העולמי וכמובן גם את המלחמות, הביטחון והטרור שגם הם עברו גלובליזציה. לא רק הטרור, גם מבריחי הסמים, גם "מכבסי הכספים", גם המהגרים הבלתי חוקיים ולמעשה כל פעילות חיובית ושלילית כיום היא פעילות גלובלית כתוצאה מהמהפכה הטכנולוגית הזו.

למהפכה הטכנולוגית הזאת יש אלמנטים אחרים מעניינים: הזמן העובר מרעיון ועד מימושו יכול להיות קצר מאוד, בייחוד בתחומי המחשבים, התקשורת והאינטרנט. חלק מהרעיונות המדהימים ביותר נולדים במוחם של אנשים שאין להם השכלה אקדמית פורמלית. חבורת בחורים צעירים בג'ינס עם עגילים, עובדת במוסך וממציאה משהו שאחר-כך נמכר לפעמים במאות מיליונים, ולפעמים מתברר שאינו שווה דבר. המהפכה הזו משפיעה על ילדים בני 10 לפני שהיא משפיעה על מורים בני 40 וגם זה פן מיוחד מאוד של אותה המהפכה. זוהי המהפכה הראשונה. כסמל למהפכה הזו, ברצוני לבחור את עכבר הפלסטיק שבעזרתו אנו מפעילים את המחשב שלנו.

המהפכה השנייה מפגרת בערך בעשור אחרי המהפכה הראשונה. היא עדיין לא בשיאה, אבל כבר משפיעה על חיינו. זוהי המהפכה הגנטית, הביוטכנולוגית, מהפכת מדעי החיים על כל ההשפעות שלה, על הרפואה מצד אחד ועל החקלאות מצד שני. דרך החקלאות על המזון, ודרך הרפואה על כל האספקטים של חיינו החל בבעיות אתיות של יצירת בני אדם לפי הזמנה או יצירת בעלי חיים לפי הזמנה, ועד נושא אחר מרתק ומוזר: האם בעתיד נוכל לחיות 150 או 200 שנה? האם אנחנו רוצים בכך בכלל? האם נדע מה לעשות עם אפשרות כזו?

המהפכה השנייה מובילה לנושאים מגוונים שאיש לא חלם עליהם. נושא אחד כזה הוא תעודת הזהות הגנטית של אדם, דבר שיקרה בעתיד הקרוב מאוד כתוצאה מסיומו של פרויקט הגנום האנושי. כל אחד מאיתנו יסתובב כשבכיסו כרטיס שיאמר שיש לנו אחוזי סיכוי מסוימים לקבל מחלה כזו, סיכוי גדול מהמוצע למחלה אחרת, ואולי סיכוי אפסי למחלה שלישית. זאת כתוצאה מהגנים המסוימים שלנו. איך זה ישפיע על כל אספקט אחר של חיינו? מי יקבל אותנו לעבודה אם יש לנו סיכוי גבוה לקבל איזו שהיא מחלה איומה? ומי יתן לנו בטוח בריאות או ביטוח חיים במקרה כזה? כל אורחות החיים עומדות להשתנות בצורה דרמטית מאוד כתוצאה מהמהפכה הזו. היא איטית יותר מפני שהיא איננה יכולה להיוולד במוחם של בחורים בני 25 במוסך ולעבור תוך שנה מהרעיון לביצוע. היא מחייבת מעבדות, עשרות חוקרים בעלי רקע אקדמי מתקדם, ציוד מתוחכם, השקעות, ובדרך כלל גם שנים של ניסויים קליניים. היא מחייבת שורה ארוכה של שלבים שאינם קיימים במהפכה הראשונה.

גם המהפכה השנייה הזו חדרה לכל פינה בחיינו ואם עדיין לא חדרה, היא תחדור בעתיד הקרוב מאוד. בניגוד למהפכה הראשונה, המשפיעה יותר על ילדים בני 10 מאשר על מורים בני 40, המהפכה השנייה משפיעה יותר על אנשים מבוגרים המתעניינים יותר במחלות ובבעיות בריאות מאשר כל ילדים שהבעיות האלה עדיין אינן מטרידות אותם במיוחד.

הסמל של המהפכה השנייה הזו הוא כלי המחקר העיקרי שלה - העכבר הטרינסגני. זהו אותו עכבר שנולד מהפרייה של ביצית של עכברה ע"י זרע של עכבר כאשר בזמן ההפרייה אנחנו מוסיפים או גורעים משהו מהאינפורמציה הגנטית של אותו עכבר וע"י זה יוצרים עכבר שהתכונות הגנטיות שלו שונות במעט מהעכבר שהיה נוצר אחרת. הטכניקה הזו, נפוצה היום בעולם המחקרי. כאן במכון ויצמן, שאתם מתארחים בו היום, יש שני בניינים שלמים מלאים בעכברים כאלה, המשמשים לעשרות מחקרים מכל הסוגים. הטכניקה הזו היא שמאפשרת לנו לגלות את מה שאתם קוראים כמעט כל יום בעיתון - זוהי הגן שאחראי למחלה זו וזו, בודד הגן האחראי להשמנה, לזכרון טוב, לסרטן מסוג מסוים או למחלה אחרת. חלק ניכר מהדברים האלה נעשים ביסודו של דבר, בעזרת טכנולוגיה זו.

יש לנו אם כן שתי מהפכות: המהפכה הראשונה המאופיינת ע"י עכבר הפלסטיק של המחשב והמהפכה השנייה שמאופיינת ע"י העכבר הטרינסגני. שתיהן חדרו לכל פינה בחיינו.

השלב הבא התחיל כבר להתרחש, ואנחנו מוצאים אותו בכל פינה כאן במכון ויצמן ובמוסדות מחקר מובילים אחרים בעולם. הוא עוד לא חדר לחיי היום-יום אבל אין ספק שיחדור אליהם לפני שהתלמידים של חטיבת הביניים של היום ימצאו את מקומות העבודה העתידיים שלהם. זהו השידוך והמיזוג של שני העכברים האלה. אני אוהב להשתעשע במחשבה המטורפת של העכבר הגנטי ועכבר הפלסטיק מנהלים רומן סוער ביניהם, אבל למעשה זה מה שקורה היום בחזית המדע. הולכים ונוצרים, בפעם הראשונה, שטחי מדע שהם בתחום המשלב את המתמטיקה, מדעי המחשב, פיזיקה, לייזרים, טלקומוניקציה מצד אחד, ואת הביוטכנולוגיה, גנטיקה, ביולוגיה, רפואה, חקלאות מצד שני.

עצם המיזוג הזה אינו חדש לגמרי. כבר לפני 105 שנים השתמש רנטגן במחקר פיזיקלי כדי להגיע לפריצת דרך המשמשת עד היום את הרפואה. תמיד השתמשו בפיזיקה ככלי לשרות הרפואה. אבל רק בשנים האחרונות הדבר הזה הפך לשיטפון ורק בשנים האחרונות השילוב הבין-תחומי חרג מהזיווג הזה של הפיזיקה והרפואה.

נושא מרתק ראשון בתחום זה הוא הנושא החדש הנקרא ביואינפורמטיקה: שימוש כמעט בלתי מוגבל בטכניקות מתחומי המחשבים, כדי לנתח ולעכל את האינפורמציה הביולוגית המגיעה מתחומי הגנטיקה ומפרויקט הגנום האנושי. אבל זוהי רק ההתחלה, כי פרויקט הגנום האנושי בעצם רק נתן לנו רשימה של הכתובות הגנטיות של האדם, וטרם לימד אותנו כיצד מתרחשים הדברים. הדבר דומה לקבלת רשימה של כל הכתובות הקיימות בעיר מסוימת, מבלי שיהיה מושג מי גר בכתובות האלה. השלב הבא, שרק מתחיל, הוא השלב הפוסט-גנומי, או שלב החלבונים. זהו שלב של תחום חדש לגמרי במדע, תחום הנקרא פרוטיאומיקה (פרוטאינים – חלבונים), מדע החלבונים. לא מדובר סתם בהבנת החלבונים אלא בהבנת התהליכים שבעזרתם מבצעים החלבונים את כל המעבר בין האינפורמציה הבסיסית הגנטית ובין החיים. כאשר אנחנו אומרים שגן מסוים מסוגל לעשות דבר כזה או אחר, הוא עושה זאת דרך החלבונים הספציפיים לגן הזה או לפעולה הזאת. כאן נולד תחום שלם שדורש עיבוד כמויות אינפורמציה ענקיות ולכן זהו תחום אחד שיש לו רגל אחת בתחום המחשבים ורגל אחת בתחום הביולוגיה. זוהי הביואינפורמטיקה.

תחום שני, מרתק עוד יותר, הוא התחום שאנחנו קוראים לו היום ביולוגיה מבנית. מה פירוש ביולוגיה מבנית? כמעט כל הרפואה המודרנית נשענת על מולקולות ביולוגיות מסובכות המכילות עשרות אלפי או מאות אלפי אטומים. מה פירוש מולקולות ביולוגיות? כמובן מולקולות הן מולקולות של חומר אבל אלה הם החומרים הביולוגיים החשובים. הדוגמא הקלאסית היא כמובן ה-DNA אבל מעבר לזה ישנם חלבונים מורכבים מאוד בעלי תפקידים כאלה ואחרים. ולכן אנחנו מתעניינים במבנה של המולקולות הביולוגיות האלה, שמשפיעות על הרפואה ועל החקלאות. אנחנו מנסים ליצור תרופות חדשות ע"י "משחק" במולקולות האלה. אבל כדי לעשות זאת אנו צריכים להבין כיצד המולקולות פועלות. כדי להבין כיצד הן פועלות, לא מספיק לדעת את רשימת 100,000 האטומים שישנם במולקולה הזו, אלא גם להבין כיצד 100,000 האטומים מסודרים במרחב התלת-ממדי. האם בצורת כדור? בצורת ספירלה? בצורת כדור עם חורים? כדור עם ידיות? איך זה נראה? וכדי להבין את המבנה התלת-ממדי הזה של המולקולה הכימית שמעניינת אותנו מבחינה ביולוגית, כדי לפתור בעיות רפואיות, אנחנו צריכים לתקוף את המולקולה הזו בכל אמצעי הדיאגנוסטיקה בעזרתם אנו בודקים את עצמנו בבתי החולים – אנו עושים לה צילומי רנטגן, C.T. (כלומר צילומי רנטגן מכמה זוויות ושיחזור ממוחשב), בדיקות M.R.I. (כלומר הדמיה בעזרת תהודה מגנטית) ובדיקות פיסיקליות אחרות הנעזרות במחשבים. אנחנו למעשה מפעילים על המולקולות בדיוק את אותם המכשירים שאנחנו מפעילים על גוף האדם לדיאגנוסטיקה בבית החולים – רק שהם מדויקים יותר ויקרים יותר. והרי לכם שוב שטח מזהים שבו בעזרת מודלים ממוחשבים ואנליזה ממוחשבת והרבה מאוד מתמטיקה, אנחנו משתמשים בשיטות פיזיקליות כמו קרני רנטגן ומגנטים על-מוליכים, כדי לתקוף מולקולות כימיות מסובכות שיש בהן עניין ביולוגי למטרה רפואית. זוהי רב-תחומיות מרשימה בבעיה מדעית אחת שמשקיעים בה היום מיליארדים בכל העולם, עשרות מיליונים בארץ והרבה מאוד מיליונים בקמפוס הזה.

הדוגמא של ביואינפורמטיקה והדוגמא של ביולוגיה מבנית, הן רק שתי דוגמאות של הזיווג החדש בין שתי המהפכות. יש תחום אחר חדש ומרתק שנקרא פיזיקה ביולוגית. לשם כך אנחנו משתמשים בכל הטכניקות הפיזיקליות שבהן השתמשנו במשך 50 שנה כדי להבין את תכונותיהם של חומרים. אילו חומרים מוליכים? אלו מבודדים? אלו מוליכים למחצה? סופר מוליכים? מדוע לחומרים יש תכונות אלסטיות? כל הסיפור הזה של הבנת החומרים המוצקים והנוזלים, שהפיזיקה עוסקת בו כבר עשרות בשנים, כל הטכנולוגיה הזו, מופעלת היום במרץ רב על בעיות ביולוגיות, על הבנת מבנה התא החי, על הבנת תכונות מולקולת ה-DNA ועל הבנת מבנה מולקולות אחרות. בנוסף, אנחנו מנסים לקחת חומר חי, חומרים כמו גידים, מפרקים, עצמות, ולנתח אותו בעזרת הטכניקות הפיזיקליות האלה.

עוד אלמנט של השידוך בין שני העכברים הוא, המוח אנושי. המוח הוא כמובן נושא למחקר רפואי, אנטומי, פיזיולוגי, ביולוגי, אבל אנחנו גם רוצים להבין את השפעת החומרים הכימיים על המוח בין אם אלה סמים בלתי חוקיים ובין אם אלה תרופות, אנחנו רוצים להבין כיצד המוח פועל כרשת פיזיקלית של אותות חשמליים, והמוח הוא אחרי ככלות הכל, המחשב המזהיר ביותר שאי פעם תוכנן: ילד בן 5 מסוגל לעשות הרבה דברים ששום מחשב עדיין אינו יודע לבצע. משום כך מעניין אותנו להבין את הארכיטקטורה של המוח כמחשב. זהו שוב תחום שבו אנשי מדעי המחשב, אנשי המתמטיקה ואנשי הפיזיקה חייבים לשלב ידיים עם אנשי הכימיה, הביולוגיה, הפיזיולוגיה והרפואה והאנטומיה. כל הדברים האלה מתרחשים סביבנו. השידוך בין שתי המהפכות הוא השידוך של העתיד. כשם ששתי המהפכות הראשונות חדרו לכל פינה כך גם המהפכה המשולבת הזו תחדור לכל פינה.

יש עוד מהפכה, שהיא לא מהפכה אלא משבר. זהו משבר האנרגיה והסביבה. אנחנו חיים על פני כדור הארץ שממדיו אינם גדולים יחסית ל- 6 מיליארד האנשים שחיים בו. אנחנו מזהמים אותו ומבזבזים בצורה פושעת את האנרגיה שאנחנו מסוגלים להפיק ממנו. פתרון לכל הבעיות האלה יכול לבוא רק ממדע וטכנולוגיה רב-תחומיים, שילוב של הבנת ההנדסה, הטכנולוגיה, הפיזיקה, הביולוגיה והכימיה.

אין כבר צורך לשכנע, בוודאי לא את הקהל הזה, שאין פינה בחיינו בקבלת החלטות פוליטיות, החלטות ניהוליות, החלטות כלכליות, שאין בה היום הרבה מדע. זהו מדע מגוון, מדע בין-תחומי ותערובת של מדע וטכנולוגיה. זהו העולם שבו אנו חיים היום וברור לחלוטין שזה העולם שאלי גולים הילדים שאנחנו צריכים לחנך אותם. זוהי הסיבה שבאנו לפני 10 שנים עם התיזה האומרת שמגן הילדים, לפחות עד סוף כיתה ט', אנחנו צריכים לבצע אינטגרציה של כל המקצועות המדעיים ואינטגרציה של המדע והטכנולוגיה. עלינו לקשור בינם לבין בעיות החברה, בעיות הסביבה, והנושאים העומדים על סדר יומנו הלא מדעי. עלינו לעשות זאת כדי להדגיש את הרלוונטיות של המדע והטכנולוגיה וכדי לנמק לא רק למורה ולא רק להורה ולא רק לאזרח, אלא גם לתלמיד, מדוע בפעם הראשונה בהיסטוריה, הבנה מסוימת במדע וטכנולוגיה היא חלק אינטגרלי של ההשכלה הכללית של כל אזרח. זה לא היה כך כשאני למדתי בבית הספר. יכולתי לגדול כתלמיד טוב ואפילו כאינטלקטואל, אם זו הייתה מטרתי, בלי להבין מלה אחת במדע וטכנולוגיה, ואפילו בלי להצליח יותר מדי במתמטיקה. היו לנו, לצערנו, אפילו שרי חינוך שהתגאו בכל הזדמנות בכך שהם נכשלו במתמטיקה. אבל זה לא יימשך בעידן שבו כמעט כל החלטה תחייב ידע מסוים במדע וטכנולוגיה, ואנחנו מדברים עכשיו על הכנת הדור הבא לעידן הזה.

בתוך כל המהומה הזו יש עוד אלמנט אחד שצריך להבין אותו וצריך לחזור עליו שוב ושוב כמעין מנטרה: הידע המדעי והטכנולוגי הוא המשאב הכלכלי החשוב ביותר היום בעולם. אין בכלל פרופורציה בין הערך הכלכלי של הידע המדעי וטכנולוגי לבין, נניח, הערך של נפט או זהב או כל משאב טבע אחר. ההוכחה לכך פשוטה מאוד. תסתכלו למשל על התוצר המקומי הגולמי (תמ"ג) לנפש של ישראל לעומת התמ"ג לנפש של סעודיה. בישראל הוא בערך פי 2.5 מבסעודיה! ישראל היא מדינה שכל מה שיש לה הוא ידע וסעודיה היא מדינה שכל מה שיש לה הוא נפט. יש להם הרבה נפט, יש להם הרבה יותר נפט ממה שלנו יש ידע ובכל זאת התמ"ג לנפש שלנו הוא פי 2.5 משלהם. כמובן שלא מדובר רק בישראל, אלא גם מדינות קטנות אחרות כמו פינלנד, או דנמרק שאין להן דבר פרט לידע. ולא מדובר רק במדינות, מדובר גם בחברות, מדובר גם בתעשיות ומדובר בתוך מדינה בשכבות של האוכלוסיה. הידע המדעי הוא המבדיל בין המובטל של מחר לבין המועסק של מחר, וכשאני אומר ידע מדעי אני לא מתכוון לדוקטורט בפיזיקה. אני מתכוון להבנה מסוימת שנדרשת מכל אזרח במדינה ולתשתית מסוימת של חשיבה מדעית וטכנולוגית. רק לפני כמה מאות שנים נראה מוזר כשכל אזרח נדרש לדעת לקרוא ולכתוב. הרעיון שכל אחד צריך לדעת לקרוא ולכתוב, הוא יחסית חדש. אבל לא מספיק לדעת לקרוא ולכתוב. צריך גם להשיג רמה מינימלית מסוימת של חשיבה וידע מדעי וטכנולוגי. וזה בעצם המסר שאנחנו מנסים להעביר לציבור וילידים. המשפט הזה, המנטרה שאנחנו צריכים לחזור עליה כל יום הוא בעצם המשפט ההגיוני הפשוט הבא: אם המשאב הכלכלי החשוב ביותר בעולם הוא ידע, ובמיוחד ידע מדעי וטכנולוגי, אז ההשקעה הכדאית ביותר בעולם היא חינוך ובייחוד חינוך מדעי וטכנולוגי. אין לוגיקה פשוטה מזאת.

חינוך למי? למצטיינים? למחוננים? למבריקים? או לכל? התשובה, כרגיל, היא גם לאלה וגם לאלה. אין סתירה בין השניים. אבל ההשקעה במצטיינים ובמבריקים היא זניחה בכמותה ביחס להשקעה בחינוך לכל. אני דואג פחות למצטיינים מפני שהעניינים מתנהלים שם פחות או יותר כשורה. יש אמנם הרבה מה

לשפר, אבל בכל זאת המצב סביר. זוהי הסיבה לכך שהדגש צריך להיות על הקניית רמה מסוימת של מדע וטכנולוגיה לכל, לכל אזרח, לכל ילד, לכל תלמיד. אסור לוותר גם על המבוגרים, ולא לומר שכל מי שעבר את גיל 12 כבר אבוד. אנו נצטרך לחיות עוד הרבה מאוד שנים עם כל מי שעבר את גיל 12 ופלאי הרפואה יכולים לגרום לכך שנצטרך לחיות עוד 130-150 שנה עם כל אחד מהם. אז לא הייתי מוותר כל כך מהר גם על הציבור המבוגר מאוד, אבל זה כבר סיפור אחר.

כל זה מביא אתי לתיזה של החינוך המדעי-טכנולוגי לכל, שיש לו מאפיינים שונים משל חינוך למצטיינים, ויש לו מאפיינים שונים משל חינוך בכלל. ככל שחושבים על העניין יותר, מדהים יותר השוני בין נושא זה ובין שאר המקצועות.

הייתי רוצה לסיים בכמה אמירות, ואמנה אותם בעשר נקודות קצרות לגבי החינוך בעידן המדעי טכנולוגי:

1. בפעם הראשונה בהיסטוריה, חינוך מדעי טכנולוגי לכל הוא חלק הכרחי של ההשכלה כללית. יש הכרח לשנן את ולשכנע בכך. לא כולם עדיין משוכנעים. יותר מדי שרים, מנכ"לים ומקבלי החלטות עדיין לא תפסו את העניין הזה, כי הם אומרים: הגעתי לאן שהגעתי בלי להבין מלה במדע וטכנולוגיה. אבל אתה הגעת בתקופה אחרת!

2. אין מדע בלי טכנולוגיה ואין טכנולוגיה בלי מדע. השילוב חייב להתחיל כבר בבית הספר היסודי ולהימשך לאורך כל שנות הלימוד עד לאוניברסיטה.

3. אין "מדע וטכנולוגיה" לכל בלי הקשר שלהם לחברה, לבעיות חברתיות, לבעיות פוליטיות, להחלטות ציבוריות. צריך להיזהר בעניין הזה, כי עיסוק רב מדי בבעיות האלה, ממסמס את העיסוק המדעי. מדע זה לא סתם מלים ונאומים. צריך להבין את הדברים, צריך להבין צדדים כמותיים, צריך להיזהר מאוד מ"מריחה" אבל מצד שני צריך לזכור שהנושאים הציבוריים, החברתיים, והכלכליים הם הסיבה שמדע וטכנולוגיה הם חלק מההשכלה הכללית ולכן יש להדגיש את הקשר הזה.

4. ככל שהמדע מתקדם מהר יותר, פחות חשוב ללמד את התגליות של אתמול ושל הבוקר ויותר חשוב ללמד את הבסיס. למען השם, עזבו את כל המקצועות האקזוטיים. אם אתם רוצים להכין את התלמידים למדע צריך ללמד אותם יותר מתמטיקה, יותר פיזיקה, יותר דברים בסיסיים. אם תלמדו אותם על השבב האלקטרוני החדש שיצא לשוק לפני שבועיים, עד שהם יגיעו למקום העבודה הראשון שלהם, יעברו עוד שמונה דורות של שבבים אלקטרוניים. אין בזה שום הגיון. לעומת זאת, המתמטיקה והפיזיקה הבסיסית לא תשתנה. תסתכלו על מה שקורה עם העולים מבריה"מ לשעבר שקבלו הכשרה מצוינת במתמטיקה ורובם גם בפיזיקה, והגיעו הנה מבלי להכיר טכנולוגיות מתקדמות. הם משתלטים במהירות מרשימה על הטכנולוגיות האלו, משום שבסיס הידע שלהם איתן. יש לנו דוגמאות כאן במכון ויצמן של אנשים שהגיעו לעסוק בטכנולוגיות הכי מתקדמות שבבריה"מ לא חלמו עליהם, אבל הייתה להם הכשרה בסיסית טובה, מתמטיקה ופיזיקה בסיסית טובה, ויש להם היכולת ללמוד מהר ולהבין לעומק דבר חדש.

5. נקודה קריטית נוספת היא המורים. המורה למדע ולטכנולוגיה הוא מורה ממין אחר. המורה בחטיבת הביניים למשל אינו יכול לדעת את כל התשובות. אנחנו מכסים תחום כל כך רחב שאין למורה אפשרות לדעת את כל התשובות. התלמיד צריך להבין את זה, המנהל צריך להבין את זה והמורה צריך להבין את זה. זהו מורה מסוג אחר, מורה שלומד עם תלמידיו ומלמד אותם איך ללמוד, מכוון אותם למקורות מידע ומסוגל לדון איתם על השאלות. זוהי בעצם משימת ההוראה הקשה ביותר שקיימת היום. ולכן אנו צריכים לספק למורה הזה את הגיבוי המירבי ואת הסיוע המירבי. כשאני שומע אימרות כגון: מדוע צריך מרכזי מורים אזוריים ומרכזים ארציים דווקא בתחום המדע והטכנולוגיה ולא בתחומים אחרים? התשובה הברורה היא: לא משום שהוראת המדע חשובה יותר מהוראת אנגלית אלא משום שהמורה לאנגלית יודע אנגלית ואילו המורה למדע לא יכול לדעת מדע! לא כי הוא לא חכם, אלא כי אי אפשר! אני, פרופסור מכובד, איני יודע מספיק ביולוגיה. מדוע שהמורה בחטיבת הביניים ידע על בוריים גם פיזיקה וגם ביולוגיה? הנקודה הזו היא אחת הנקודות המרכזיות בכל הנושא שלנו, וכאשר אני שומע לאחרונה על פגיעות קשות בהשתלמויות מורים ומרכזי מורים, אני נחרד, כי אנו פוגעים בלב העניין.

6. חינוך נכון בעידן המדע והטכנולוגיה אינו אומר בשום פנים שיש להזניח את מדעי הרוח והאומנויות. גם על זה צריך לחזור בכל יום כי תמיד יקום חכם כלשהו ויגיד: "האם אתם רוצים עולם שיש בו רק מהנדסים ומדענים?" בשום פנים ואופן לא. אוי ואבוי לעולם כזה, עולם בלי אומנויות, עולם בלי מדעי הרוח ועולם בלי כל הדברים שמרחיבים את הדעת. זה לא במקום וזה לא בא בחשבון, ושלא יהיה ספק בעניין הזה.

7. עולם בעידן המדע הוא עולם שבו השפה האנגלית חייבת לשחק תפקיד מרכזי. ישנם מפגשים בינלאומיים, בהם משתתפים מאות אנשים, ולעתים אנגלית אינה שפת האם של אף אחד מהמשתתפים, אבל זו הדרך היחידה היום לתקשר בעולם. בעידן האינטרנט הנושא הזה כבר הוכרע. כמעט כל המידע המועבר כיום הוא באנגלית ולכן, כאנשי מדע וטכנולוגיה, אנו חייבים ללחוץ בנושא הזה, כמובן – לא על חשבון שפת האם, אלא בנוסף.

8. בעידן הגלובליזציה, המדע והטכנולוגיה, אסור לנו לוותר על שלנו, על הדברים המיוחדים והמאפיינים אותנו כאן בארץ ישראל, במדינת ישראל, כעם ישראל וכיהודים. ההיסטוריה שלנו, התרבות שלנו, כל מה שמייחד אותנו. בשום אופן אסור לנו לוותר על כך. לכל עם יש את הייחוד שלו והיכולת שלו. זה לא מקרה שאנחנו טובים, שאנחנו מעצמת הייטק, מפני שיש לנו תכונות לאומיות של יצירתיות ויזמות שמתאימות לנושא הזה. מצד שני, זה לא מקרה שאין לנו אף חברה אחת של עשרות מילארדי דולרים כמו נוקיה שבפינלנד, מפני שאנחנו לא מאורגנים ולא מספיק ממושמצים כדי להקים חברה כזו. לכל מדינה יש את נקודות החוזק שלה וצריך להגן עליהן ולשמור עליהן.

9. בעידן המדע והטכנולוגיה צריך להלחם מלחמת חורמה, נגד כל הדברים שהם בגדר מדע מזויף. כל מרפאי האליל, וכל הידעונים, וכל האסטרולוגים, וכל בעלי הקמיעות, וכל הדברים מהסוגים האלה. אם מישו רוצה להאמין במשהו אני לא רוצה לפלוש לתוך חייו הפרטיים ובוודאי שאינני רומז אפילו, חס ושלום, נגד אמונה דתית. אבל השיטפון הזה של אמונות תפלות ושל תזות אנטי מדעיות מוחלטות, לא יכול לחיות בשלום עם הבנת מדע וטכנולוגיה מינימאלית. הדבר הזה צריך להיות מובן לכל מי שמלמד מדע וטכנולוגיה.

10. העכבר הראשון, עכבר הפלסטיק, בעצם עדיין לא השפיע השפעה של ממש על החינוך. כן, יש מחשבים בבתי הספר, יש ניסויים כאלה ויש ניסויים אחרים. התלמידים נעזרים באינטרנט. הכל טוב ויפה, אבל אנחנו עדיין חיים במשטר של כיתה שיש בה 20-30-40 תלמידים ומורה ולוח שעשוי מעץ. השימוש במחשב שולי יחסית ושימוש בטכנולוגיה מודרנית זעיר. גם הנועזים ביותר אינם משנים את תוכנית הלימודים אלא מלמדים את אותה תוכנית, בעזרת הכלים האלה. אני לא אומר את זה מפני שאני יודע לעשות את זה יותר טוב. עובדה שבשום מקום אחר בעולם עוד לא קרתה המהפכה הזו. הדבר הזה דורש הרבה מאוד מחשבה כי הנה בעצם התהפך העולם, המסחר השתנה מאוד כתוצאה מהמחשבים והאינטרנט, ניהול המשרד השתנה לגמרי, התעשייה השתנתה, ואילו בביה"ס השינוי הוא שולי יחסית. נכון, זו מערכת שמרנית יותר. נכון, לתלמידים קל יותר להשתנות מלמורים. נכון, הדבר עולה הרבה כסף. אבל בכל זאת קשה להבין איך אחרי כל-כך הרבה שנים אנחנו עדיין בשינוי מינימאלי, וזה חומר למחשבה. בכל מקרה, אנחנו צריכים להתמודד עם כל הנושאים האלה.

אנחנו בעיצומה של המהפכה המדעית. איננו יכולים לברוח ממנה. אנו חייבים להשתלב בה, כמדינה, אם אנו חפצים חיים, אם אנו רוצים מניעת פערים – חובה עלינו להדגיש את הדברים האלה. אם נרשה שנתח רציני של אוכלוסיית מדינת ישראל לא יהיה שותף למהפכת המדע והטכנולוגיה, כפי שהמצב היום, אלה יהיו המובטלים של העתיד, אלה יישארו בעתיד מתחת לקו העוני וכך יוצרו הפערים החברתיים של העתיד. אני מאמין באמונה שלמה שהמפתח ליציאה מפערים כאלה ומהעוני (בטווח הארוך ולא בטווח 3-5 שנים) הוא הדגשה של החינוך המדעי טכנולוגי. ועם המחשבה הזו אני מסיים, ומאחל לכולכם שתמשיכו ליהנות ביום העיון הזה ושתצליחו בהקניית מדע וטכנולוגיה לתלמידי חטיבת הביניים.